

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平 1 1 - 5 0 3 8 2 0

(43) 公表日 平成 11 年 (1999) 3 月 30 日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 F 23/22

G 0 1 F 23/22

H

審査請求 未請求 予備審査請求 有

(全 2 6 頁)

(21) 出願番号 特願平 7-527478  
(86) (22) 出願日 平成 7 年 (1995) 4 月 25 日  
(85) 翻訳文提出日 平成 8 年 (1996) 10 月 23 日  
(86) 国際出願番号 PCT/GB95/00938  
(87) 国際公開番号 W095/29388  
(87) 国際公開日 平成 7 年 (1995) 11 月 2 日  
(31) 優先権主張番号 9408176. 7  
(32) 優先日 1994 年 4 月 25 日  
(33) 優先権主張国 イギリス (GB)

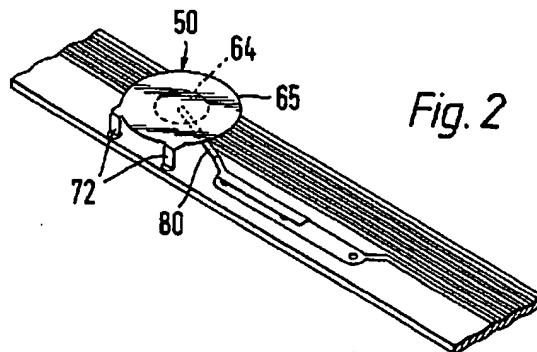
(71) 出願人 センサー システムズ (ジャージー) リミ  
ティッド  
英国 ジェイイー 2 4 エルユー ジャージ  
ー、セントヘリア、タンネル ストリート、  
トーマス エッジ ハウス  
(72) 発明者 キャセルデン、イアン  
英国 サセックス ティーエヌ 40 2 エヌ  
ワイ、ベックスヒル オナーシー、13 グ  
ラスベリィ ドゥライヴ  
(74) 代理人 弁理士 齋藤 和則

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電性感知システム

(57) 【要約】

振動する圧電圧性感知エレメント (50) がその感知エレメントの共振周波数においてまたはその共振周波数の近くにおいて周期的ドライブ信号によりドライブされ、そしてその感知エレメントからのリターン信号は共振周波数におけるずれを検知するために監視される圧電圧性感知システムが開示されている。



BEST AVAILABLE COPY

**【特許請求の範囲】**

1. 振動する圧電性感知エレメントがその感知エレメントの共振周波数において、またはその共振周波数の近くにおいて周期的ドライブ信号によりドライブされ、そしてその感知エレメントからのリターン信号が共振周波数におけるずれを検知するために監視される圧電性感知システム。
2. リターン信号の周期が検知され、そして検知された周期が感知エレメントに適用されたドライブ信号の周波数を制御することを特徴とする請求の範囲第1項に記載された感知システム。
3. ドライブ信号はリターン信号を監視する時に除去されることを特徴とする請求の範囲第1項または第2項に記載された感知システム。
4. ドライブ信号は間欠的に感知エレメントに適用され、そしてリターン信号は時間分割多重送信を使用するドライブ信号の間の介在するインターバルの中で監視されることを特徴とする請求の範囲第3項に記載された感知システム。
5. リターン信号の監視はドライブ信号の除去後のあらかじめ決められたインターバルに対して遅れていることを特徴とする請求の範囲第3項または第4項に記載された感知システム。
6. ドライブ信号はマイクロコントローラーのI/Oポートから送られ、そしてリターン信号は前記ポートにおいて受信されることを特徴とする請求の範囲第5項に記載された感知システム。
7. I/Oポートは遅延インターバルの間及びリターン信号の監視に先立ってあらかじめ決められた電圧で保持されることを特徴とする請求の範囲第6項に記載された感知システム。
8. ドライブ信号は最初感知エレメントの予期される共振周波数を含む周波数の範囲を通して走査されることを特徴とする請求の範囲第1項から第7項までのいずれか一つに記載された感知システム。
9. リターン信号は共振周波数に最も近いドライブ信号を検知するため周波数の前記走査の間監視されることを特徴とする請求の範囲第8項に記載された感知システム。

10. リターン信号はあらかじめ決められた数居値レベルを超えた振幅を有する受信サイクルの数を検知することにより周波数の走査の間監視されることを特徴とする請求の範囲第9項に記載された感知システム。

11. ドライブ信号は互いに間隔を置いて配置された複数の感知エレメントに連続的に適用され、そして各感知エレメントからのリターン信号はその感知エレメントを囲む媒体の特性におけるすべての変化を検知するために監視されることを特徴とする請求の範囲第1項から第10項までのいずれか一つに記載された感知システム。

12. リターン信号はそれぞれの感知エレメントのレベルにおける流体の存在または非存在を検知するために監視されることを特徴とする請求の範囲第11項に記載された感知システム。

13. 流体のレベルを検知するための請求の範囲第1項から第12項までに記載された感知システムの使用。

14. 実質的に添付図面の第1図から第6図までを参照してここに述べられたような感知システム。

15. 実質的に添付図面の第7図、第8図または第9図を参照してここに述べられたような感知システム。

**【発明の詳細な説明】****圧電性感知システム**

本発明は圧電性センサーの可変特性がそのセンサーを囲む媒体の特性における変化を検知するために監視される圧電性感知システムに関するものである。

圧電性エレメントが流体中に浸っている時の圧電性エレメントの共振周波数の変化が検知される流体レベル検知器を提供することは知られている。このような装置は例えば欧州特許出願E P - A - 0 1 2 3 1 8 9の中で開示されている。この既知の検知器においては、圧電性エレメントは外側ドライブ発振回路によりドライブされ、共振はドライブ回路の電圧と電流の間の位相差を監視することにより検知される。共振に際しては電圧と電流は同一位相となるだろう。

流体レベルを検知するためのより柔軟な、そしてより低コストのシステムに対する必要性がある。

本発明によれば、振動する圧電性エレメントが、感知エレメントの共振周波数において、またはその周波数の近くで、周期的ドライブ信号によりドライブされ、そして感知エレメントからのリターン信号が共振周波数におけるずれを検知するために監視される圧電性検知システムが提供されている。

好ましくはドライブ信号は感知エレメントに間欠的に適用され、リターン信号は時間分割多重送信を使用するドライブ信号間の介在間隔において監視される。

ドライブ信号は好ましくはマイクロコントローラーのI/Oポートから送信され、その時そのポートはリターン信号を監視する前の短い遅れ期間にあらかじめ決められた一定の電圧または論理レベルに保持される。これは種々の感知エレメントからの信号におけるすべての変化を埋没させるリターン信号を防止する。

好ましくはドライブ信号は最初は周波数の範囲を通して走査され、リターン信号は感知エレメントの共振周波数に最も近い周波数を検知するために監視される。

感知システムは広い適用範囲を有し、感知エレメントの共振周波数に影響する特別の媒体の特性における変化が検知されるべきである時はいつも使用することができる。そのシステムは特に流体レベル、例えば貯油タンクの油のレベルの検

知に適している。

例示のみの方法により、ここで本発明のいくつかの実施例を添付図面を参照して述べよう。添付図面は次のとおりである。

第 1 図は多点流体レベル検知器の平面図である。

第 2 図は第 1 図の検知器における感知エレメントの中の 1 個の詳細図である。

第 3 図は検知器の監視回路のためのハウジングの斜視図である。第 4 図は検知器の感知エレメント 1 個をドライブ及び監視するための回路の回路図である。

第 5 図は第 4 図の回路の操作における初期のフェーズを図示する波形線図である。

第 6 図は第 4 図の回路の操作における次期フェーズを図示する波形線図である。

第 7 図は圧電性感知エレメントをドライブし、そして流体レベル検知器におけるそのエレメントの共振周波数を検知するための代替回路の回路線図である。

第 8 図は第二の代替回路図である。

第 9 図は第三の代替回路図である。

第 1 0 図は第 9 図の回路における波形のいくつかを図示する波形線図である。

第 1 図から第 3 図までは細長いプローブに沿って間隔を置いて連続的に配列された圧電性感知エレメント 5 0 から成る流体レベル検知器を示す。単一の感知エレメント 5 0 は第 2 図により詳細に示されている。使用に際し、プローブはコンテナ内に置かれ、そしてコンテナ内の流体レベルは流体中

に浸っている検知エレメント 5 0 の数を感知することにより検知される。第 1 図から第 3 図までに示されるプローブは英国特許出願 9 4 0 8 1 8 9 . 0 に基づく、そしてこれと同時に出願されている我々の並行出願中の特許においてより完璧に述べられ、そして分割して特許請求されている。感知エレメントが流体中に浸っているか否かを感知するため、各感知エレメントは第 3 図に示すようにハウジング 5 2 に内蔵されるプリント回路板 5 1 上の監視回路に接続されている。監視回路は第 4 図に概念的に示され、そしてマイクロコントローラー 6 0、例えばマイクロチップ・テクノロジー社により製造された単一チップ P I C 1 6 C 5 X

シリーズのようなEPROMベースの8ビットCMOSマイクロコントローラーを含んでいる。マイクロコントローラー60は入力（スイッチS1開）及び出力（スイッチS1閉）として操作することが可能なI/O回路70を含んでいる。第4図は外側抵抗器63を介して圧電性感知エレメント50へ接続された1個のそのようなI/Oポート71を示す。各感知エレメント50はマイクロコントローラー60のそれぞれのI/Oポート71に接続されている。

圧電性感知エレメント50はより大きい直径の背面板65に接着された圧電性セラミック・ディスク64から成っている。背面板は接地され、マイクロコントローラー60内で合成された四角波形の電圧がそのセラミック・ディスクに適用される。これはドライブ信号の周波数において背面板65の振動を生み出す。感知エレメントはその感知エレメントのサイズ、質量及び取付け状態に依存する特有の共振周波数を有するだろう。そしてこの共振周波数はその感知エレメントを囲む媒体の粘性によって変化するだろう。したがって、流体のレベルが上昇するか下降するかにより感知エレメントがコンテナ中の流体の中に浸ったり流体の外へ出たりする時、共振周波数において有意義なずれが現れるだろう。

共振周波数におけるずれは、マイクロコントローラー60からのドライブ信号により励起された時、感知エレメント50により発生したリターン信号の特性を監視することにより検知される。ドライブ信号66（第5図）は最初は各抽出された周波数に対す

る出力ポートとしてまず作動し、次に介在する期間に、感知エレメントにより生み出されるリターン信号67を受信するための入力ポートとして作動するI/Oポート71で周波数の範囲を通してスイープされる。プロセスのこの走査フェーズの間、ドライブ信号とリターン信号は第5図に示される形状を有する。

走査フェーズの目的は感知エレメントの共振周波数の近くの一点を確立することである。このことは入力ゲートの敷居値レベル以下で信号が衰微する前に受信されるリターン信号67のサイクルの数を数え、そしてサイクルのピーク数を検知するマイクロコントローラー60により達成される。

この概略の共振点を決定した後、マイクロコントローラー60は、検出された

共振点に近い周波数において共振する感知エレメントへドライブ信号66のバーストを送ることにより、各バーストからのリターン信号の周期を測定し続け、そしてそれが測定された周期に可能な限り近くにあるように各場合のドライブ信号の周波数を調整し続ける。

ドライブ信号の周波数はデジタル・プロセサーを使用するマイクロコントローラーに中で合成されるので、マイクロコントローラーはただ単に時計速度、ソフトウェア及びマイクロコントローラーのタイプに依存する50～100Hzの周波数ステップに対応する例えば4マイクロ秒の分離したステップにおいて出力周波数を発生させることが可能である。したがって、ドライブ信号のいくつかのバーストは、出力がそれ自身特別の周波数において落ち着くか、または共振周波数の両側の二つの周波数の間でハンティングをする前に必要である。

操作のこの追跡フェーズの間、信号は第6図に示す形状を有する。リターン信号67の周期を測定することにより、マイクロコントローラーは、感知エレメントがコンテナ中の流体に浸り、またはその流体から出て来る時、共振周波数におけるずれを検知することができる。

もしリターン信号67がI/O回路70にフィードバックされたら、直ちにドライブ信号66は取り除かれ、信号のピークからピークへの大きさはドライブ電圧の約2倍となり、そしてこのことは共振点で、そして共振を一寸

外れた点でピークのリターン信号における変化をマスクすることができよう。したがって、第6図に示す追跡フェーズの間、各リターン信号はリターン信号を受け入れる前の数サイクルの間一定の値（論理0）に出力71を保持することにより減衰する。この方法で、共振する感知エレメントにおけるエネルギーのいくらかはリターン信号が検知される前に消失する。

かくして感知システムはマイクロコントローラー60の単一の入力/出力ピン71を使用する時間分割多重化の基礎として作動する。マイクロコントローラーは参照時計信号を与える水晶発信器を含んでいる。そしてドライブ信号66はリターン信号67の周期に応答してソフトウェア・プログラムにより合成される。

加えて、リターン信号67はそれがマイクロコントローラーへの入力ゲートの

論理敷居値を通ることを確実にするためバイアスされなければならない。このことは抵抗器ネットワークにより達成されるだろう。しかしながら、この例では、それはドライブ電圧の半分の交流バイアスが達成されるように交流平均成分の副産物として達成される。バイアスは最終的にドライブ信号の義務サイクル並びに保持フェーズの期間及び極の組合せにより制御される。

マイクロコントローラ60は入力回路70と連絡する1対の寄生ダイオードD1, D2を含んでいる。ドライブ・フェーズ及び保持フェーズの終端で、ドライブは除去され、そして高インピーダンスになる。この点で感知エレメント50の共振板65は、その共振周波数の近くで励起される時、セラミック・ディスク64を変形させ、それにより電圧を発生させながら、振動し続けるだろう。ドライブ信号がピエゾセラミック組立品（取付け脚72、電気接点及び最も有意義な周辺の媒体を含む）の共振点に近い周波数を有し、有意義なサイクルがピーク変形を達成するため適用された時、リターン信号57のピーク電圧はドライブ回路への供給電圧 $V_{cc}$ より大きくなるだろう。したがって、ダイオードD1, D2は、正の半サイクルが $V_{cc}$ （-0.6V）を超える時、及び負の半サイクルがGND（-0.6V）以下の時、伝導するだろう。これらの期間、誘起された電流は発生し

たリターン波形の平均をドライブ回路の供給電圧レールの間の中途にもたらすためバイアス回路を充電またはバイアス回路から放電する傾向があり、かくして発生した電圧が両方の論理状態を完全に達成すること、すなわちそれが少なくとも衰微していく電圧の早いサイクルのため入力ゲートの論理敷居値を横切ることを確実にする。

第5図のドライブ・フェーズは一連のドライブ・サイクルであり、その数は与えられた大きさの共振器に対して最大エネルギー・レベルを達成させるのに十分であり、そしてノイズ・レベルが重大にならないことを確実にするのに十分小さい。この期間中、エネルギーは、もしドライブ信号がその組立品の共振周波数に近いなら、共振板中に形成される。ドライブ信号の除去の際（t1における）、共振器の板65は、ドラムが寄生ダイオードD1, D2により削減されるであろ



う電圧と外側の一連の抵抗器63により制限された電流を発生させながら一度鳴るので、振動し続け、または音を出し続けるだろう。この継続する振動は一連の抵抗器の値、共振器の取付けシステムの品質並びにピエゾセラミック・ディスク64において出入りする信号を搬送する伝導体80（第2図）により産み出される質量及び機械的減衰により支配される予期し得る時間内に衰えるだろう。加えて、抵抗器63の値とドライブが除去される前の信号66の最後のドライブ・レベルの組合せは合成波形の中心をセットするだろう。中心電圧がマイクロコントローラーの論理数居値（典型的には1.5V～2.5V）に近いような抵抗器63を選択することはノイズ免疫を犠牲にして感度を増大させるだろう。

回路は、低コストのドライブ及び検知回路、大きいフィードバック信号（ドライブ及びフィードバックの両方のために使用されるセラミックの大きい寸法により産み出される）並びに主としてソフトウェア制御下にある閉ループ共振器を含む多くの重要な利点を有し、複合濾過、フェーズずれ、ドライブ周波数合成、信号減衰及び増加したドライブ・サイクルがデポジットを熟成または増強することによりもたらされる共振器の品質低下に対して補償することを可能にする。

次に第7図の実施例を参照すると、圧電性感知エレメント10は自己ドラ

イブの発振器回路14によりドライブされる。感知エレメント10は共振板12に接着されたピエゾセラミック・ディスク11から成っており、そのディスク11は共振板12が共振周波数において振動している時ドライブ回路14へ信号をフィードバックする電圧発生アイランド13を含んでいる。

共振周波数は感知エレメントが浸っている媒体に依存するので、感知エレメントの共振周波数における変化はコンテナ中の特別のレベルにおいて流体が存在するかまたは存在しないかを検知するために使用され得る。

第7図において、共振周波数におけるこの変化は感知エレメントに送られるドライブ電圧を参照電圧と比較することにより検知される。共振に際し、感知エレメントに供給される電圧と電流のフェーズは一致し、感知エレメントのインピーダンスはドライブ電流が最大となるようその最小値に保持され、そしてフィードバック・エレメント13からの電圧はその最大値に保持される。したがって、も

し感知エレメントが最初空気中で共振し、次に油のような流体中に浸るなら、その結果として起こるドライブ電流のフェーズ及び／または振幅の変化は検知され得る。

第7図をさらに詳細に参照すると、ドライブ回路は自己発振し、そしてトランジスターTR1並びに抵抗器R1、R2及びR3により構成される。感知エレメントからのフィードバック電圧は振動を持続させ、そして抵抗器R1及びR3の間の接合点へ送られる。

フィードバック電圧のフェーズ関係は共振周波数より低いドライブ周波数に対しては先んじて進行し、共振周波数より高いドライブ周波数に対しては遅れて進行する。共振点付近では、周波数の小さい変化に対しフェーズの非常に大きいずれが起こる。時間指定されたサンプラー16は既知の周期に対し比較器15の出力を抽出し、そしてその組立品の周波数を決定するためトランジションの数（1サイクル当たり2トランジション）を数える。

第8図は、参照周波数を与える水晶制御の時計ソースS1を有するマイクロコントローラー・チップ20がドライブ回路31へのフィードバック・ループを監視し、圧電性感知エレメント30回りの流体媒体の存在または不存在を検知するため周波数数値を当てる代案配置を示す。このような回路

の潜在的な問題は過大共振の問題である。自己発振するドライブ回路は複合奇数調和周波数において安定化する傾向を示すことが観察されている。このことは、感知エレメントのピエゾ・ディスクが垂直に取り付けられ、そして半分流体に浸っている時に、特に真実である。

第8図の回路において、この問題はフィードバック回路においてローパス・フィルターを設けることにより征服される。ローパス・フィルターは蓄電器C1及び抵抗器R5により形成される。

自己発振するドライブ回路の今一つの潜在的な問題は始動の問題である。第8図において採用されたアプローチは二つの予期される共振状態において、またはその近くにおいて、発振器を「キック・スタート」することである。マイクロコントローラー20のP40はトランジスター・ステージTR2を振動状態に「ド

ライブ」することのできる合成周波数出力を最初に与える三重状態接続である。

かくして、感知エレメント30が流体中に浸っているか否かを決定するために、ドライブ回路31はまず約200サイクルに対する二つの共振周波数のうち低い方の近くにドライブされ、次に回路がフリー・ランするようにP40が高いインピーダンスに置かれる。次に回路の周波数ドリフトが観察され、もし感知エレメントが湿った状態にあるなら、回路は二つの共振周波数のうち低い方で安定するだろう。一方、もし感知エレメントが乾燥した状態にあるなら、回路は高い方の共振周波数に漂行するだろう。

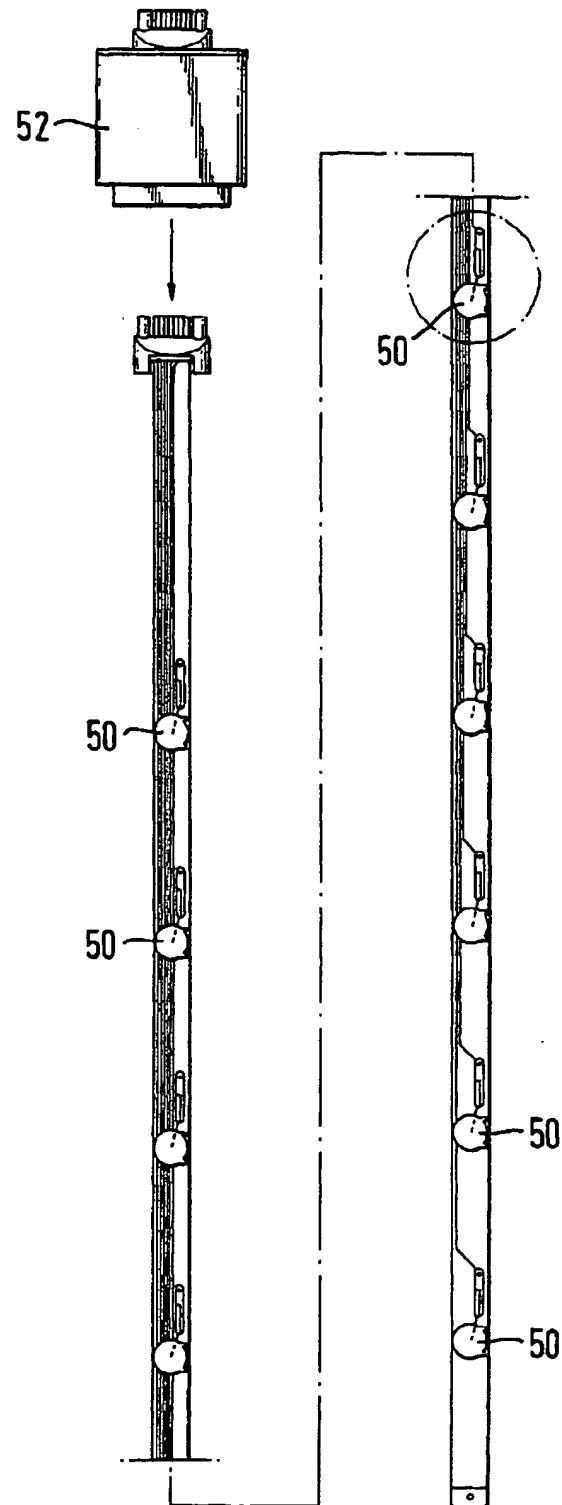
それから回路は二つの共振周波数のうち高い方に近い周波数で「キック・スタート」され、再び周波数漂行が観察される。もし回路が各場合において二つの共振周波数のうち一つにおいて安定することがないなら、これは欠陥状態を示す。この例では、周波数はフィードバック信号に関するトランジションを数えることによりマイクロコントローラ20の中で検知される。

次に第9図の代案回路及び第10図の波形線図を参照すると、水晶制御された時計ソースS1を再び有するマイクロコントローラ41は圧電性エレメント40をその共振周波数においてドライブするためのドライブ回路42へ合成された四角形波周波数信号V1を与える。圧電性エレメントから

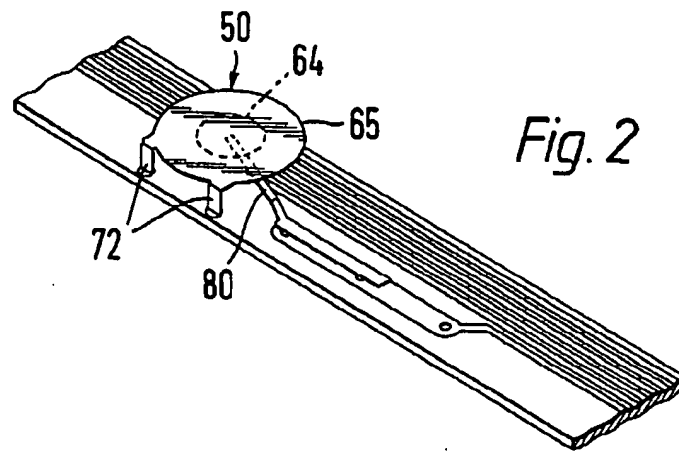
の正弦曲線のフィードバック信号VFはピーク検知器トランジスタTR3並びに抵抗器R8、R9及びR10を含むフィードバック回路へ送られる。抵抗器R8、R9と結合したTR3のベース／エミッター接合点はピーク検出器回路のための約0.6ボルトのバイアス及び敷居値レファレンスを与える。ピーク検出器からの出力Voはピーク電圧に比例するパルス幅を有する。したがって、圧電性エレメントの回りの流体の存在または非存在を検知するため、周波数合成器の出力は二つの共振周波数のうちの低い方の下から二つの共振周波数のうちの高い方の上へスイープされ、そしてVoのマーク・スペース比はスイープされた範囲内の増加周波数においてマイクロコントローラ41内の適当な回路により監視される。マーク・スペース比が1:1(50%義務サイクルに対応する)の時、これは合成器が共振周波数の状態にあることを示す。共振周波数の値はその際圧電

性エレメントが流体の中にあるか外にあるかを示すだろう。

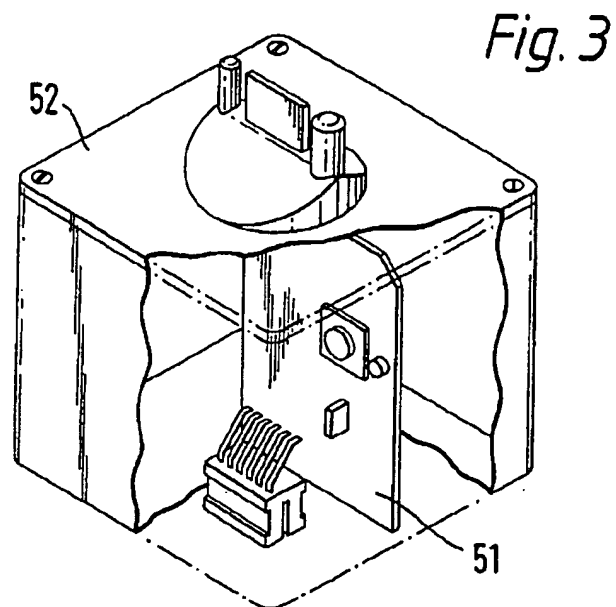
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図4】

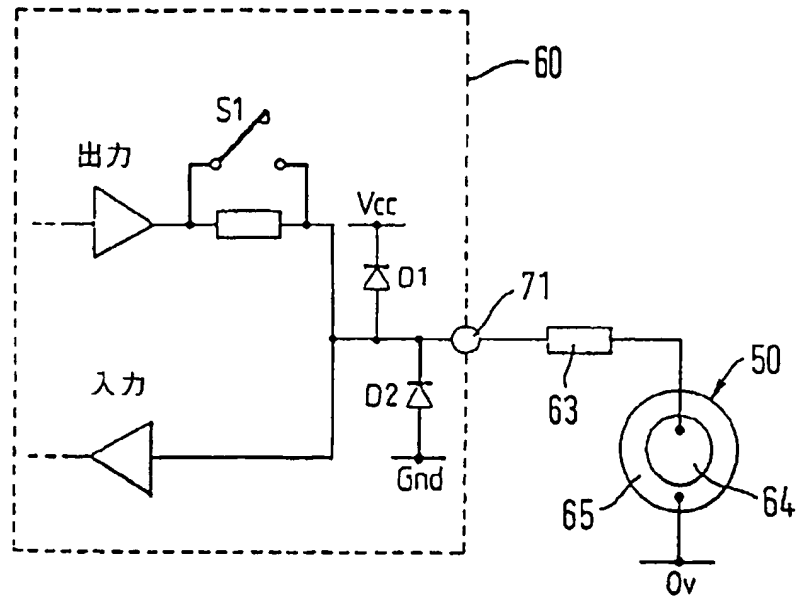


Fig. 4

【図5】

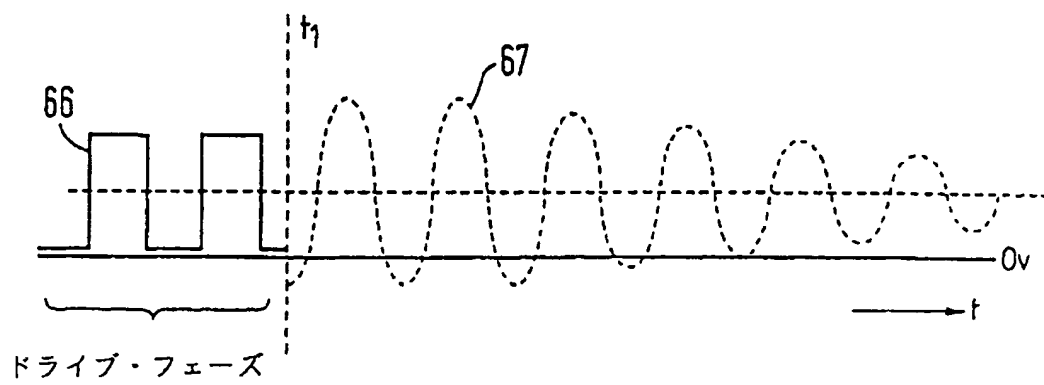


Fig. 5

【図6】

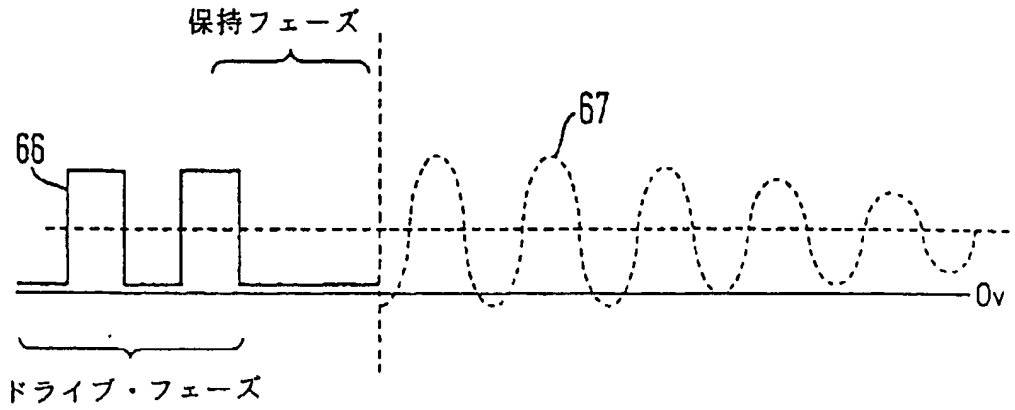


Fig. 6

【図7】

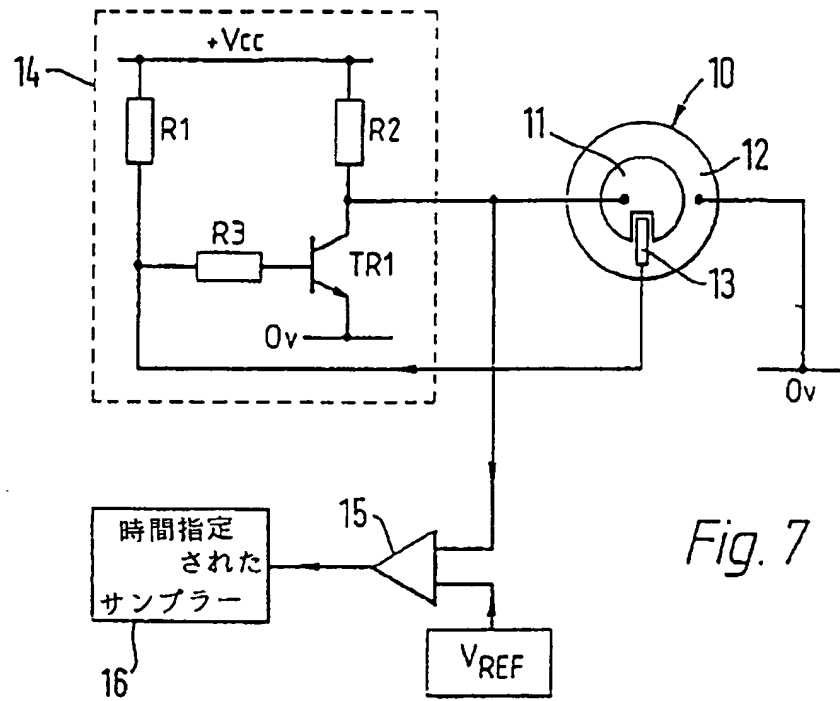


Fig. 7



【図 8】

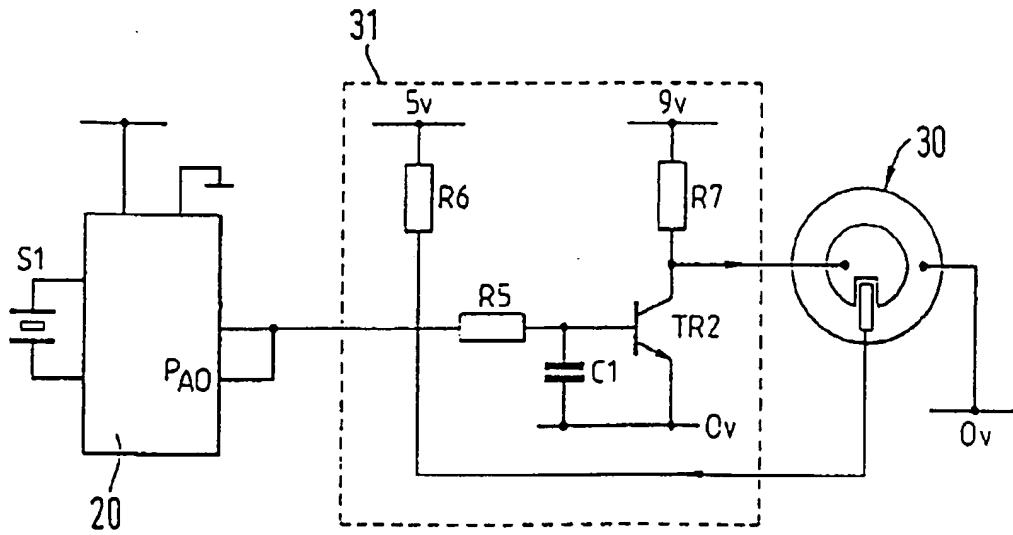


Fig. 8

【図9】

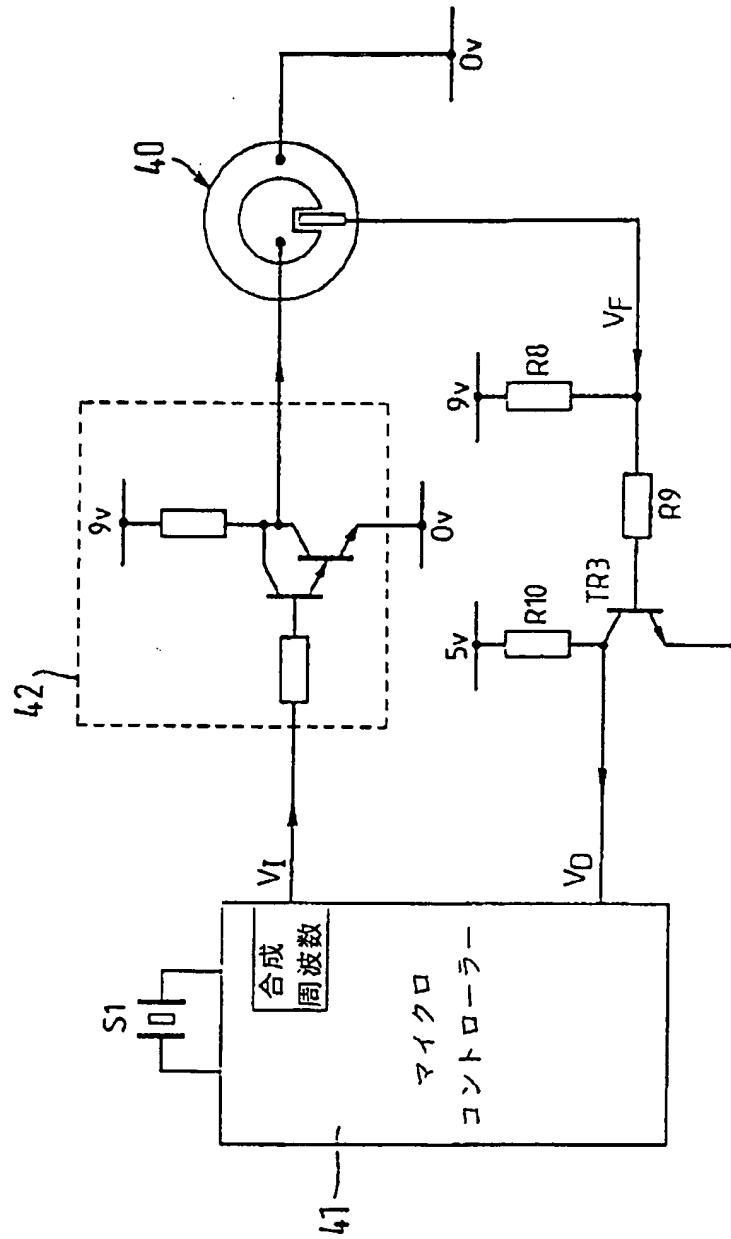


Fig. 9

【図10】

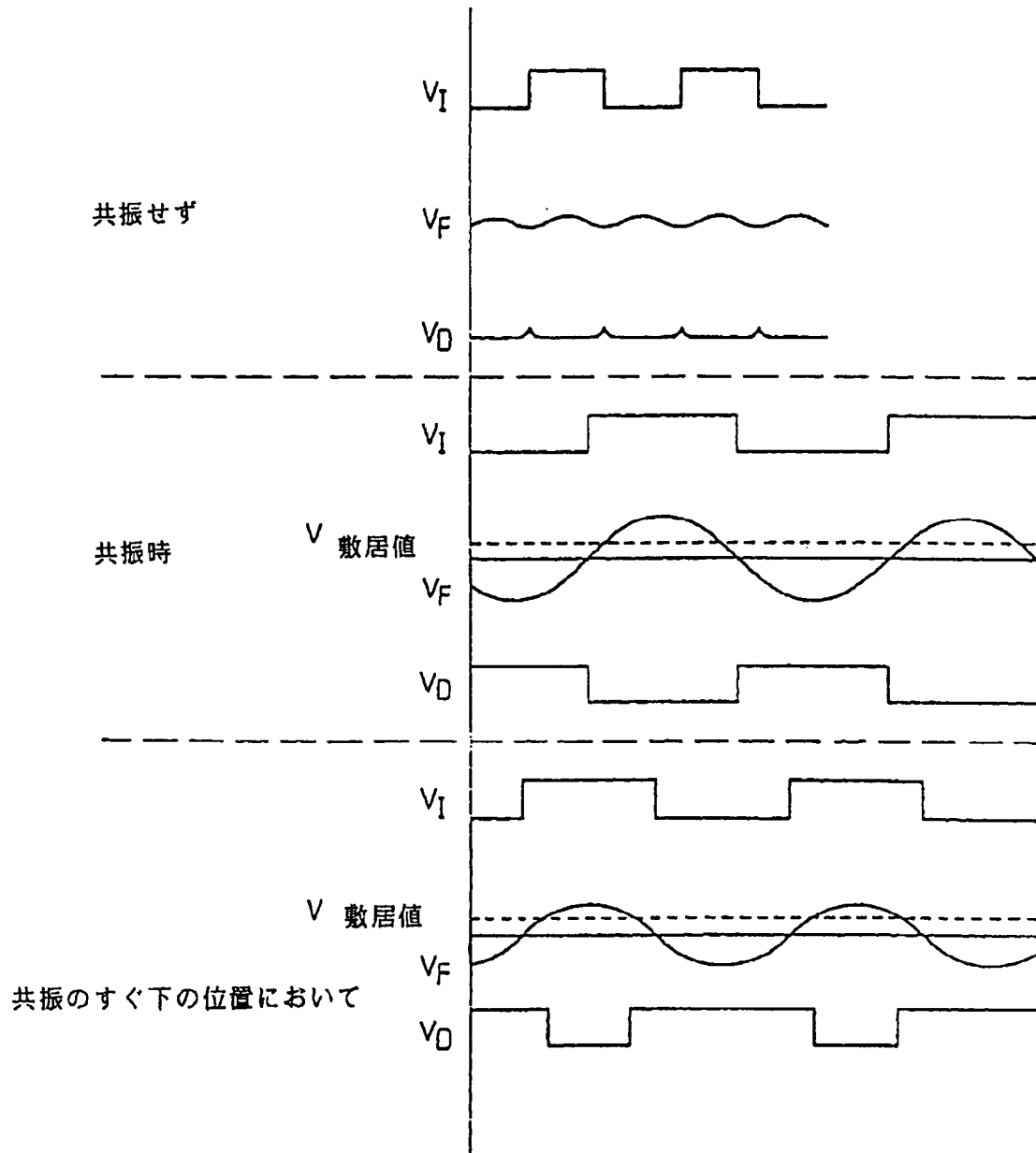


Fig.10

【手続補正書】特許法第 1 8 4 条の 8

【提出日】 1 9 9 6 年 5 月 2 0 日

【補正内容】

### 明細書

#### 圧電性感知システム

本発明は圧電性センサーの可変特性がそのセンサーを囲む媒体の特性における変化を検知するために監視される圧電性感知システムに関するものである。

圧電性エレメントが流体中に浸っている時その圧電性エレメントの共振周波数における変化が検知される流体レベル検知器を提供することが知られている。そのような装置は例えば欧州特許出願 E P - A - 0 1 2 3 1 8 9 に開示されている。この既知の検知器においては、圧電性エレメントは外部のドライブ発振回路によりドライブされ、そして共振はそのドライブ発振回路における電圧と電流の間のフェーズ差を監視することにより検知される。共振時は、電圧及び電流の両フェーズが一致する。

フランス特許出願 F R - A - 2 , 4 3 6 , 3 7 2 においては、周期的ドライブ信号が圧電性感知エレメントをその共振周波数において、またはその共振周波数の近くにおいて振動させるために適用され、そしてその感知エレメントに供給される電流がその感知エレメントが流体中に浸っている時振動状態における変化を検知するために監視される流体レベル監視装置が開示されている。

流体レベルを感知するためにはもっと信頼できる、そしてコストのかからないシステムの必要性がある。

本発明によれば、圧電性感知エレメントを囲む媒体の特性における変化を感知する方法が提供されており、その方法はその感知エレメントをその共振周波数において、またはその共振周波数の近くにおいて振動させるために周期的ドライブ信号を適用すること、及びその振動する感知エレメントに及ぼす前記媒体の効果を監視することにより構成され、その振動する感知エレメントがリターン信号を発生させることによりドライブ信号に応答し、そしてリターン信号が共振周波数におけるずれを検知するために監視されることを

特徴としている。

好ましくはドライブ信号は間欠的に感知システムに適用され、そしてリターン信号は時間分割多重送信を使用するドライブ信号の間に介在するインターバルにおいて監視される。

ドライブ信号は好ましくはマイクロコントローラーの I/O ポートから送られ、次にリターン信号がそのポートで受信されている間除去される。そのポートは好ましくはリターン信号を監視する前の短い遅延期間にあらかじめ決められた一定の電圧、または論理レベルに保持される。これは種々の感知エレメントからの信号におけるすべての変化を埋没させるリターン信号を防止する。

好ましくはドライブ信号は最初周波数の範囲を通して走査され、そしてリターン信号が感知エレメントの共振周波数に最も近い周波数を検知するために監視される。

#### 請求の範囲

1. 圧電性感知エレメント (10, 30, 40, 50) を囲む媒体の特性における変化を感知する方法であって、その感知エレメントをその共振周波数において、またはその共振周波数の近くにおいて振動させるため周期的ドライブ信号 (66) を適用すること、及びその振動する感知エレメントに及ぼす前期媒体の効果を監視することにより構成される方法において、振動する感知エレメントはリターン信号を発生させることによりドライブ信号に応答し、そしてそのリターン信号は共振周波数におけるずれを検知するために監視されることを特徴とする方法。
2. ドライブ信号 (66) はリターン信号を監視する時除去されることを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載された方法。
3. ドライブ信号 (66) は間欠的に感知エレメント (10, 30, 40, 50) に適用され、そしてリターン信号 (67) は時間分割多重送信を使用するドライブ信号の間に介在するインターバルにおいて監視されることを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載された方法。
4. 各リターン信号 (67) の周期が検知され、そしてその検知された周期が感

知エレメントに適用される次のドライブ信号（66）の周波数を制御することを特徴とする請求の範囲第3項に記載された方法。

5. 各リターン信号（67）の監視はドライブ信号（66）の除去後のあらかじめ決められたインターバルの間遅延することを特徴とする請求の範囲第2項から第4項までのいずれか一つに記載された方法。

6. ドライブ信号（66）はマイクロコントローラ（60）のI/Oポート（71）から供給され、そしてリターン信号（67）は前記ポートで受信

されることを特徴とする請求の範囲第5項に記載された方法。

7. I/Oポート（71）は遅延インターバルの間、そしてリターン信号を監視することに先立ってあらかじめ決められた電圧に保持されることに特徴とする請求の範囲第6項に記載された方法。

8. ドライブ信号（66）は最初感知エレメントの予期された共振周波数を含む周波数の範囲にわたって走査されることを特徴とする請求の範囲第1項から第7項までのいずれか一つに記載された方法。

9. リターン信号（67）は共振周波数に最も近いドライブ信号を検知するために周波数の前記走査の間監視されることを特徴とする請求の範囲第8項に記載された方法。

10. リターン信号（67）はあらかじめ決められた敷居値レベルを超える振幅を有する受信サイクルの数を検知することにより周波数の走査の間監視されることを特徴とする請求の範囲第9項に記載された方法。

11. ドライブ信号（66）は互いに間隔を置いて配列された複数の感知エレメント（10, 30, 40, 50）に連続的に適用され、そして各感知エレメントからのリターン信号（67）はその感知エレメントを囲む媒体の特性におけるすべての変化を検知するために監視されることを特徴とする請求の範囲第1項から第9項までのいずれか一つに記載された方法。

12. リターン信号はそれぞれの感知エレメントのレベルにおいて流体の存在または非存在を検知するために監視されることを特徴とする請求の範囲第11項に記載された方法。

13. 流体のレベルを感知するための請求の範囲第1項から第12項までのいずれか一つに記載された方法の使用。

14. 実質的に添付図面の第1図から第6図までを参照してここに述べられた方法。

15. 実質的に添付図の第7図、第8図または第9図を参照してここに述べられた方法。

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Internal Application No PCT/GB 95/00938												
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 6 G01F23/296 G01N29/02														
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC														
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbol) IPC 6 G01F G01N														
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched														
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)														
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>FR-A-2 436 372 (CIT ALCATEL) 11 April 1980 see the whole document ----</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>DE-A-26 32 632 (ICI LTD) 26 January 1978 see the whole document ----</td> <td>1-13</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>EP-A-0 123 189 (VDO SCHINDLING) 31 October 1984 cited in the application see claims 1-7 -----</td> <td>1-13</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	FR-A-2 436 372 (CIT ALCATEL) 11 April 1980 see the whole document ----	1	A	DE-A-26 32 632 (ICI LTD) 26 January 1978 see the whole document ----	1-13	A	EP-A-0 123 189 (VDO SCHINDLING) 31 October 1984 cited in the application see claims 1-7 -----	1-13
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X	FR-A-2 436 372 (CIT ALCATEL) 11 April 1980 see the whole document ----	1												
A	DE-A-26 32 632 (ICI LTD) 26 January 1978 see the whole document ----	1-13												
A	EP-A-0 123 189 (VDO SCHINDLING) 31 October 1984 cited in the application see claims 1-7 -----	1-13												
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.														
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family														
Date of the actual completion of the international search  19 June 1995		Date of mailing of the international search report  07.07.95												
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 5018 Patentkan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016		Authorized officer  Kouzelis, D												



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/GB 95/00938

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR-A-2436372	11-04-80	NONE	
DE-A-2632632	26-01-78	NONE	
EP-A-0123189	31-10-84	DE-A- 3314872 AU-A- 2663684	25-10-84 01-11-84

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(KE, MW, SD, SZ, UG), AM, AT, AU, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LT, LU, LV, MD, MG, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TT, UA, US, UZ, VN



## INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification <sup>6</sup> : <b>G01F 23/296, G01N 29/02</b>	<b>A1</b>	(11) International Publication Number: <b>WO 95/29388</b> (43) International Publication Date: 2 November 1995 (02.11.95)
<p>(21) International Application Number: PCT/GB95/00938</p> <p>(22) International Filing Date: 25 April 1995 (25.04.95)</p> <p>(30) Priority Data: 9408176.7 25 April 1994 (25.04.94) GB</p> <p>(71) Applicant (for all designated States except US): AR-MET PLASTICS LIMITED [GB/GB]; Unit 3, Carnbane Industrial Estate, Newry BT35 6QJ (GB).</p> <p>(72) Inventor; and (75) Inventor/Applicant (for US only): CASSELDEN, Ian [GB/GB]; 13 Glassenbury Drive, Bexhill-on-Sea, Sussex TN40 2NY (GB).</p> <p>(74) Agent: BROOKES &amp; MARTIN; High Holborn House, 52/54 High Holborn, London WC1V 6SE (GB).</p>	<p>(81) Designated States: AM, AT, AU, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LT, LU, LV, MD, MG, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TT, UA, US, UZ, VN, European patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO patent (KE, MW, SD, SZ, UG).</p> <p>Published With international search report.</p>	
<p>(54) Title: PIEZOELECTRIC SENSING SYSTEMS</p> <div data-bbox="446 1102 1128 1543"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>A piezoelectric sensing system is disclosed wherein a vibrating piezoelectric sensing element (50) is driven by a periodic drive signal at or close to the resonant frequency of the sensing element, and wherein a return signal from the sensing element is monitored to detect a shift in the resonant frequency.</p>		

**FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY**

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AT	Austria	GB	United Kingdom	MR	Mauritania
AU	Australia	GE	Georgia	MW	Malawi
BB	Barbados	GN	Guinea	NE	Niger
BE	Belgium	GR	Greece	NL	Netherlands
BF	Burkina Faso	HU	Hungary	NO	Norway
BG	Bulgaria	IE	Ireland	NZ	New Zealand
BJ	Benin	IT	Italy	PL	Poland
BR	Brazil	JP	Japan	PT	Portugal
BY	Belarus	KE	Kenya	RO	Romania
CA	Canada	KG	Kyrgyzstan	RU	Russian Federation
CF	Central African Republic	KP	Democratic People's Republic of Korea	SD	Sudan
CG	Congo	KR	Republic of Korea	SE	Sweden
CH	Switzerland	KZ	Kazakhstan	SI	Slovenia
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slovakia
CM	Cameroon	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CN	China	LU	Luxembourg	TD	Chad
CS	Czechoslovakia	LV	Latvia	TG	Togo
CZ	Czech Republic	MC	Monaco	TJ	Tajikistan
DE	Germany	MD	Republic of Moldova	TT	Trinidad and Tobago
DK	Denmark	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Spain	ML	Mali	US	United States of America
FI	Finland	MN	Mongolia	UZ	Uzbekistan
FR	France			VN	Viet Nam
GA	Gabon				

PIEZOELECTRIC SENSING SYSTEMS

This invention relates to a piezoelectric sensing system wherein a variable characteristic of a piezoelectric sensor is monitored to detect variations in a characteristic of a medium surrounding the sensor.

It is known to provide a fluid level detector in which the change in resonance frequency of a piezoelectric element when the element is immersed in a fluid is detected. Such an arrangement is disclosed, for example, in EP-A-0123189. In this known detector, the piezoelectric element is driven by an external drive oscillation circuit and resonance is detected by monitoring the phase difference between the voltage and current in the drive circuit. At resonance, the voltage and current will be in phase.

There is a need for a more flexible and less costly system for sensing fluid levels.

According to the present invention, there is provided a piezoelectric sensing system wherein a vibrating piezoelectric element is driven by a periodic drive signal at or close to the resonant frequency of the sensing element, and wherein a return signal from the sensing element is monitored to detect a shift in the resonant frequency.

Preferably, the drive signal is applied intermittently to the sensing element, and the return signal is monitored in the intervening intervals between the drive signals using time division multiplexing.

The drive signal is preferably applied from an I/O port of a microcontroller, and the port is then held at a predetermined constant voltage, or logic level, for a short delay period before monitoring the return signal. This prevents the return signal swamping any variations in the signal from different sensing elements.

Preferably the drive signal is initially scanned through a range of frequencies and the return signal is monitored to detect the frequency closest to the resonant frequency of the sensing element.

The sensing system is of wide application and can be used whenever variations in the characteristic of a particular medium that affect the resonant frequency of the sensing element are to be detected. The system is particularly suited to the detection of fluid levels, for  
5 example the level of the oil in an oil storage tank.

By way of example only, some embodiments of the invention will now be described with reference to the accompanying drawings in which:

10 Fig. 1 is plan view of a multi-point fluid level detector;

Fig. 2 is a detail of one of the sensing elements in the detector of Fig. 1;

15 Fig. 3 is perspective view of the housing for the monitoring circuit of the detector;

Fig. 4 is a circuit diagram of the circuit for driving and monitoring one sensing element of the detector;

20

Fig. 5 is a waveform diagram illustrating an initial phase in the operation of the circuit of Fig. 4;

25 Fig. 6 is a waveform diagram illustrating a subsequent phase in the operation of the circuit of Fig. 4;

Fig. 7 is a circuit diagram of an alternative circuit for driving a piezoelectric sensing element and detecting the resonance frequency of the element in a fluid level detector;

30

Fig. 8 is a second alternative circuit;

Fig. 9 is a third alternative circuit; and

35 Fig. 10 is a waveform diagram illustrating some of the waveforms in the circuit of Fig. 9.

Figs. 1-3 illustrate a fluid level detector consisting of successive piezoelectric sensing elements 50 spaced apart along an elongate probe. A single sensing element 50 is shown in more detail in Fig. 2. In use, the probe is positioned within a container, and the level of a fluid in the container is detected by sensing the number of sensing elements 50 immersed in the fluid. The probe shown in Figs. 1-3 is more fully described and separately claimed in our copending application \_\_\_\_\_ based on British Patent Application 9408189.0 and being filed concurrently herewith.

10

To sense whether or not a sensing element is immersed in the fluid, each element is connected to a monitoring circuit on a printed circuit board 51 contained within a housing 52 as shown in Fig. 3. The monitoring circuit is shown schematically in Fig. 4 and includes a microcontroller 60, for example an EPROM-based 8-bit CMOS microcontroller, such as the single chip PIC16C5X Series produced by Microchip Technology Inc. The microcontroller 60 includes an I/O circuit 70 capable of operating as an input (switch S1 open) and an output (switch S1 closed). Fig. 4 shows one such I/O port 71 connected to a piezoelectric sensing element 50 through an external resistor 63. Each sensing element 50 is connected to a respective I/O port 71 of the microcontroller 60.

25

The piezoelectric sensing element 50 consists of a piezo ceramic disc 64 bonded to a larger diameter backing plate 65. The backing plate is earthed, and a square wave voltage synthesised in the microcontroller 60 is applied to the disc. This produces vibrations of the plate 65 at the frequency of the drive signal. The sensing element will have a characteristic resonant frequency dependent on the size, mass and mounting of the element, and this resonant frequency will vary according to the viscosity of the medium surrounding the element. Accordingly, there will be a significant shift in the resonant frequency when the element becomes immersed in, or emerges from, the fluid in the container as the level of the fluid rises or falls.

30

The shift in resonant frequency is detected by monitoring the characteristics of the return signal generated by the sensing element

50 when excited by a drive signal from the microcontroller 60. The drive signal 66 (Fig. 5) is initially swept through a range of frequencies with the I/O port 71 operating firstly as an output port for each sampled frequency and then, in the intervening periods, as an  
5 input port to receive the return signal 67 generated by the sensing element. During this scanning phase of the process, the drive and return signals have the form shown in Fig. 5.

10 The purpose of the scanning phase is to establish a point close the resonant frequency of the sensing element. This is achieved by the microcontroller 60 counting the number of cycles of the return signal 67 which are received before the signal decays below the threshold level of the input gate, and detecting the peak number of cycles.

15 Having determined this approximate resonant point, the microcontroller 60 continues by feeding bursts of a drive signal 66 to the resonating element at a frequency close to the detected resonance point, measuring the period of the return signal from each burst, and adjusting the frequency of the drive signal on each occasion so that it lies as close  
20 as possible to the measured period.

Since the frequency of the drive signal is synthesised in the microcontroller using a digital processor, the microcontroller is only able to generate an output frequency in discrete steps of, for example,  
25 4 microseconds corresponding to frequency steps of 50-100Hz dependent on clock speed, software and the type of microcontroller. Accordingly, several bursts of the drive signal are necessary before the output settles itself at a particular frequency or hunts back and forth between two frequencies either side of the resonant frequency.

30 During this tracking phase of the operation, the signals have the form shown in Fig. 6. By measuring the period of the return signal 67, the microcontroller is able to detect a shift in the resonance frequency when the sensing element becomes immersed in, or emerges from, the  
35 fluid in the container.

If the return signal 67 was fed back into the I/O circuit 70



immediately the drive signal 66 was removed, the peak to peak magnitude of the signal could be around twice the drive voltage and this could mask the variation in the peak return signals at resonance and just off-resonance. Accordingly, during the tracking phase shown in Fig. 6, each return signal is damped by holding the output 71 at a constant value (logic 0) for a few cycles before admitting the return signal. In this manner, some of the energy in the resonating sensing element is discharged before the return signal is detected.

The sensing system thus operates on the basis of time division multiplexing using a single input/output pin 71 of the microcontroller 60. The microcontroller includes a crystal oscillator providing a reference clock signal, and the drive signal 66 is synthesised by a software program responsive to the period of the return signal 67.

In addition, the return signal 67 must be biased to ensure that it crosses the logic thresholds of the input gate to the microcontroller. This could be achieved by a resistor network. However, in the present example, it is achieved as a by-product of the DC average component so that a DC bias of half the drive voltage will be achieved. The bias will be finely controlled by a combination of duty cycle of the drive signal and the duration and polarity of the hold phase.

The microcontroller 60 includes a pair of parasitic diodes D1, D2 associated with the input circuit 70. At the end of the drive and hold phases, the drive is removed and becomes high impedance. At this point, the resonating plate 65 of the sensing element 50, when excited near its resonant frequency, will continue to oscillate, distorting the ceramic disc 64 and thus producing a voltage. When the drive signal is of a frequency near to the resonance of the piezo ceramic assembly (including the mounting legs 72, electrical contacts and most significantly the surrounding medium) and sufficient cycles have been applied to achieve peak distortion, the peak voltage of the returned signal 67 will be greater than the supply voltage  $V_{cc}$  to the drive circuit. Accordingly, the diodes D1, D2 will conduct when the positive half cycle exceeds  $V_{cc}$  (+ 0.6v) and when the negative half cycle is below GND (-0.6v). During these periods the current drawn will tend to

charge or discharge the bias circuit to bring the average of the generated return waveform to midway between the supply voltage rails of the drive circuit; thus ensuring that the generated voltage fully achieves both logic states, i.e. it crosses the logic thresholds of the input gate, at least for the early cycles of the decaying voltage.

The drive phase of Fig. 5 is a series of drive cycles, the number being sufficient to achieve maximum energy levels for a resonator of given dimensions and low enough to ensure noise levels do not become significant. During this period, energy is built up in the resonating plate provided the drive signal is close to the resonant frequency of the assembly. Upon removal of the drive signal (at  $t_1$ ) the resonator plate 65 will continue to vibrate or ring, as a drum would once struck, producing a voltage that will be clipped by the parasitic diodes D1, D2 and current limited by the external series resistor 63. This continuing vibration will decay in a predictable time governed by the value of the series resistor, the quality of the mounting system of the resonator, and the mass and mechanical damping created by the conductors 80 (Fig. 2) that carry the signals to and from the piezo ceramic disc 64. In addition, the combination of the value of the resistor 63 and the final drive level of the signal 66 before the drive is removed, will set the centre of the resultant waveform. Selecting the resistor 63 such that the centre voltage is close to the logic threshold of the microcontroller (typically 1.5v - 2.5v) will increase sensitivity at the expense of noise immunity.

The circuit has a number of significant advantages, including low cost drive and detect circuits, a large feedback signal (created by the large dimensions of the ceramic used for both drive and feedback) and a closed loop resonator principally under software control, enabling complex filtering, phase shift, drive frequency synthesis, signal damping and increased drive cycles to compensate for degradation of the resonator caused by ageing or build up of deposits.

Referring next to the embodiment of Fig. 7, a piezoelectric sensing element 10 is driven by a self-drive oscillator circuit 14. The sensing element 10 consists of a piezo ceramic disc 11 bonded to a

resonating plate 12, the disc 11 including a voltage-generating island 13 which feeds back a signal to the drive circuit 14 when the plate 12 is vibrating at the resonant frequency.

- 5 Since the resonant frequency will depend on the medium in which the sensing element is immersed, the change in resonance frequency of the sensing element can be used to detect the presence or absence of a fluid at a particular level in a container.
- 10 In Fig. 7 this change in resonance frequency is detected by comparing the drive voltage being fed to the sensing element with a reference voltage. At resonance, the voltage and current supplied to the sensing element are in phase, the impedance of the sensing element is at its minimum so that the drive current is at a maximum, and the voltage from
- 15 the feedback element 13 is at its maximum. Accordingly, if the sensing element is initially resonating in air and then becomes immersed in a fluid, such as oil, the resulting change in phase and/or amplitude of the drive current can be detected.
- 20 Referring to Fig. 7 in more detail, the drive circuit is self-oscillating and consists of a transistor TR1 and resistors R1, R2 and R3. The feed back voltage from the sensing element sustains the oscillations and is fed to the junction between resistors R1 and R3.
- 25 The phase relationship of the feed back voltage will be leading for a drive frequency lower than the resonant frequency and lagging for a drive frequency above resonance. Near resonance, there occur very large shifts in phase for small changes in frequency. A timed sampler 16 samples the output of the comparator 15 for a known period and
- 30 counts the number of transitions (2 transitions per cycle) to determine the frequency of the assembly.

Fig. 8 illustrates an alternative arrangement in which a microcontroller chip 20 having a crystal controlled clock source S1

35 providing a reference frequency monitors the feed back loop to a drive circuit 31 and applies a frequency threshold to detect the absence or presence of a fluid medium around the piezoelectric sensing element 30.

A potential problem with such a circuit is that of over-resonance. It has been observed that a self-oscillating drive circuit shows a tendency to stabilise at multiple odd harmonic frequencies. This is particularly true when the piezo disc of the sensing element is mounted vertically and is half submerged.

In the circuit of Fig. 8, this problem is overcome by providing a low pass filter in the feed back circuit. The low pass filter is formed by the capacitor C1 and the resistor R5.

10

Another potential problem of self-oscillating drive circuits is that of start-up. The approach adopted in Fig. 8 is to "kick start" the oscillator at or near the two expected resonant states. The  $P_{A0}$  on the microcontroller 20 is a tristate connection initially providing synthesized frequency output which can "drive" the transistor stage TR2 into oscillation.

Thus, to determine whether the sensing element 30 is or is not immersed in a fluid, the drive circuit 31 is first driven near to the lower of the two resonant frequencies for, say, 200 cycles and then  $P_{A0}$  is set to high impedance so that the circuit will free run. The frequency drift of the circuit is then observed and, if the sensing element is in a wet condition, the circuit will stabilise at the lower of the two resonant frequencies. On the other hand, if the sensing element is in a dry condition, the circuit will drift to the higher resonant frequency.

The circuit is then "kick started" at a frequency near the higher of the two resonant frequencies and again the frequency drift is observed. If the circuit in each case fails to stabilise at one of the two resonant frequencies, this indicates a fault condition. In this example, the frequency is detected in the microcontroller 20 by counting the transitions on the feedback signal.

Referring next to the alternative circuit of Fig. 9 and to the waveform diagrams of Fig. 10, a microcontroller 41 again having a crystal controlled clock source S1 provides a synthesised square wave frequency signal  $V_1$  to a drive circuit 42 for driving a piezoelectric element 40

at its resonant frequency. A sinusoidal feed back signal  $V_f$  from the piezoelectric element is supplied to a feed back circuit which includes a peak detector transistor TR3 and resistors R8, R9 and R10. The base/emitter junction of TR3 coupled with resistors R8, R9 provide a bias and threshold reference of approximately 0.6 volts for the peak detector circuit. The output  $V_0$  from the peak detector has a pulse width proportional to the peak voltage. Accordingly, to detect the presence or absence of a fluid around the piezoelectric element, the output of the frequency synthesizer is swept from below the lower of the two resonant frequencies to above the higher of the two resonant frequencies and the mark space ratio of  $V_0$  is monitored by an appropriate circuit in the microcontroller 41 at incremental frequencies within the swept range. When the mark space ratio is 1:1 (corresponding to a 50% duty cycle) this indicates that the synthesizer is at the resonant frequency. The value of the resonant frequency will then indicate whether the piezoelectric element is in or out of the fluid.

CLAIMS

1. A piezoelectric sensing system wherein a vibrating piezoelectric sensing element is driven by a periodic drive signal at or close to the resonant frequency of the sensing element, and wherein a return signal from the sensing element is monitored to detect a shift in the resonant frequency.
2. A sensing system according to claim 1 wherein the period of the return signal is detected and the detected period controls the frequency of the drive signal applied to the sensing element.
3. A sensing system according to claim 1 or claim 2 wherein the drive signal is removed when monitoring the return signal.
4. A sensing system according to claim 3 wherein the drive signal is applied intermittently to the sensing element, and wherein the return signal is monitored in the intervening intervals between the drive signals using time division multiplexing.
5. A sensing system according to claim 3 or claim 4, in which the monitoring of the return signal is delayed for a predetermined interval after removal of the drive signal.
6. A sensing system according to claim 5, in which the drive signal is supplied from an I/O port of a microcontroller, and the return signal is received at the said port.
7. A sensing system according to claim 6, in which the I/O port is held at a predetermined voltage during the delay interval and prior to monitoring the return signal.
8. A sensing system according to any one of the preceding claims wherein the drive signal is initially scanned through a range of frequencies including the expected resonant frequency of the sensing element.

9. A sensing system according to claim 8, in which the return signal is monitored during the said scanning of frequencies to detect the drive signal closest to the resonant frequency.
- 5 10. A sensing system according to claim 9, in which the return signal is monitored during the scanning of frequencies by detecting the number of received cycles having an amplitude exceeding a predetermined threshold level.
- 10 11. A sensing system according to any one of the preceding claims, wherein the drive signal is applied successively to a plurality of the sensing elements spaced apart from one another, and the return signals from each sensing element are monitored to detect any variation in a characteristic of a medium surrounding the elements.
- 15 12. A sensing system according to claim 11, in which the return signals are monitored to detect the presence or absence of a fluid at the level of the respective sensing elements.
- 20 13. The use of a sensing system according to any one of the preceding claims for sensing the level of a fluid.
14. A sensing system substantially as herein described with reference to Figs. 1 - 6 of the accompanying drawings.
- 25 15. A sensing system substantially as herein described with reference to Fig. 7, Fig. 8 or Fig. 9 of the accompanying drawings.

1/7

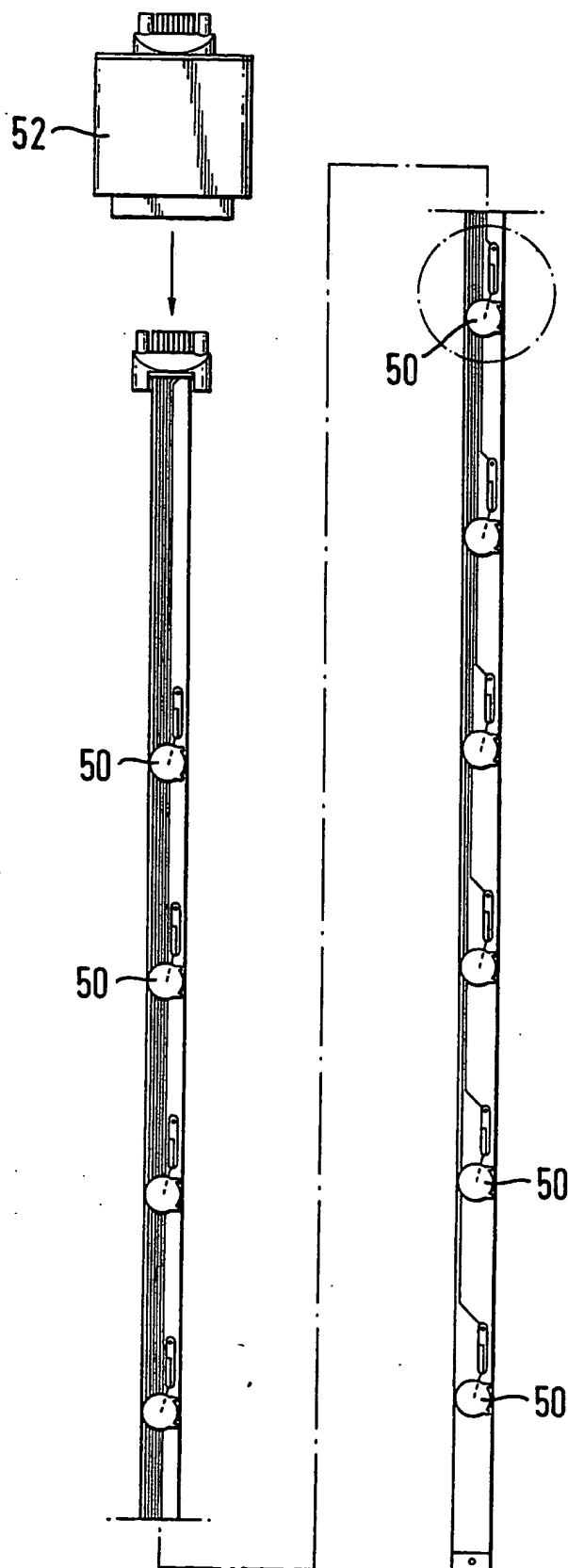
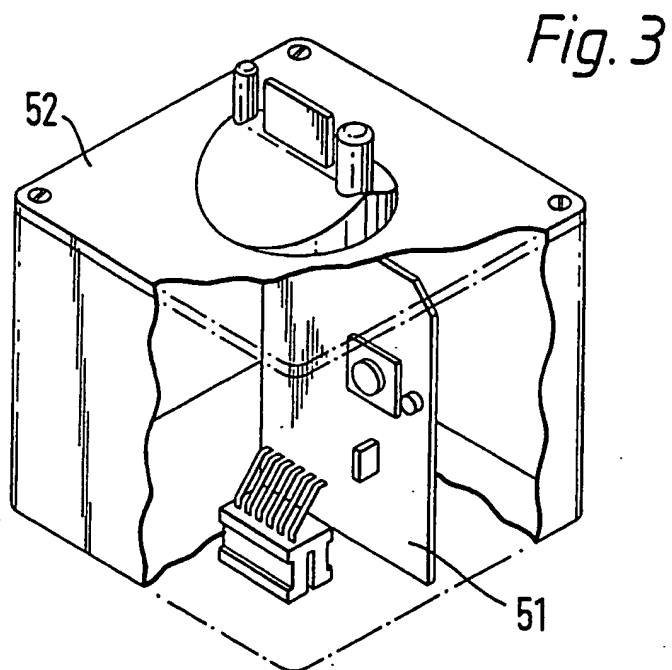
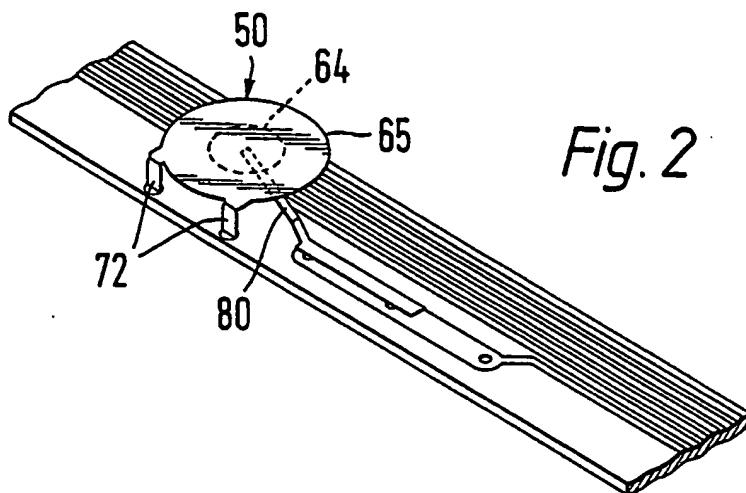


Fig. 1



2/7



3/7

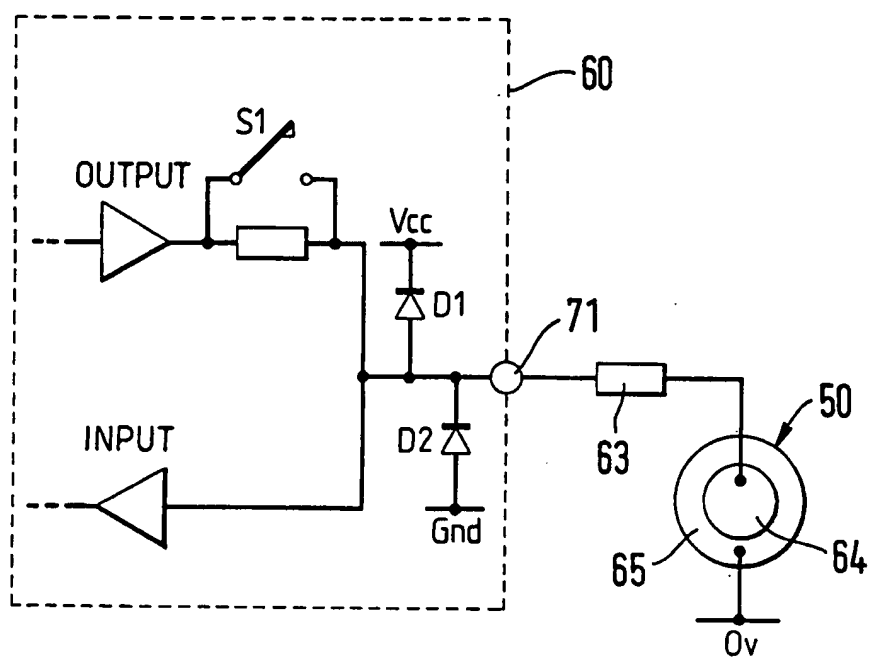


Fig. 4

4/7

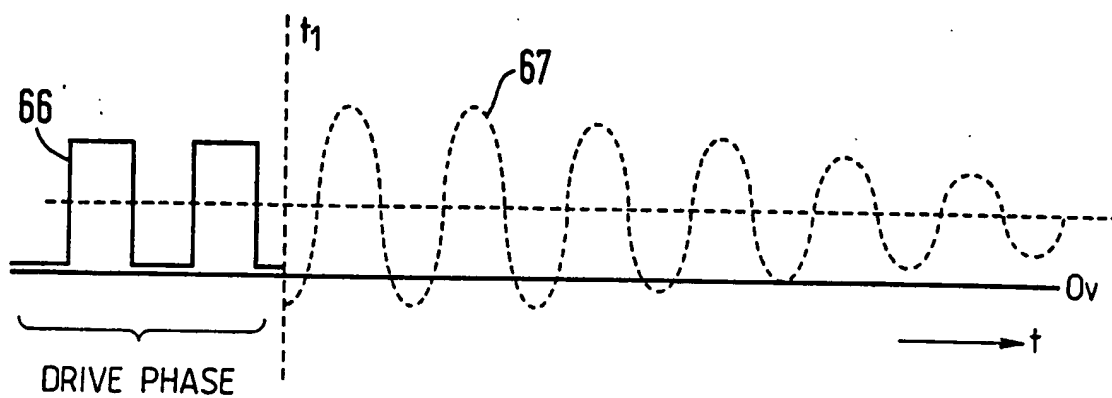


Fig. 5

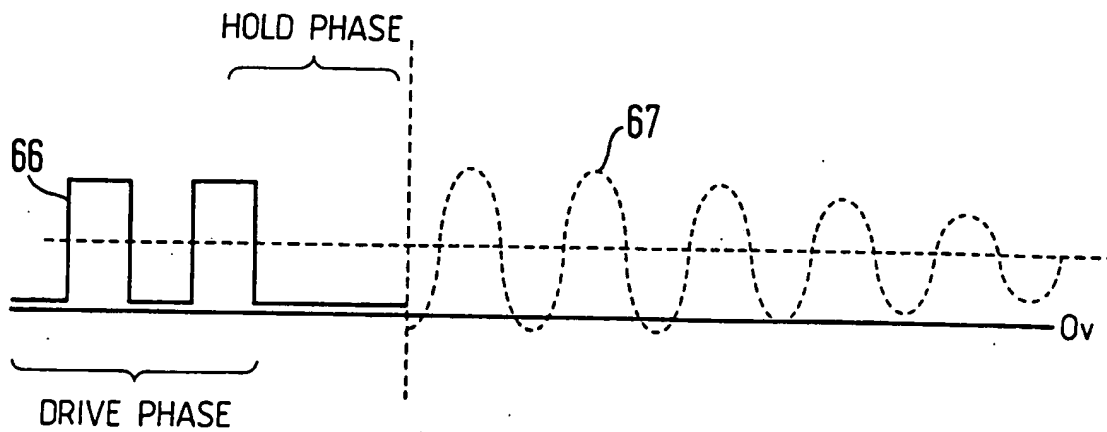


Fig. 6

5/7

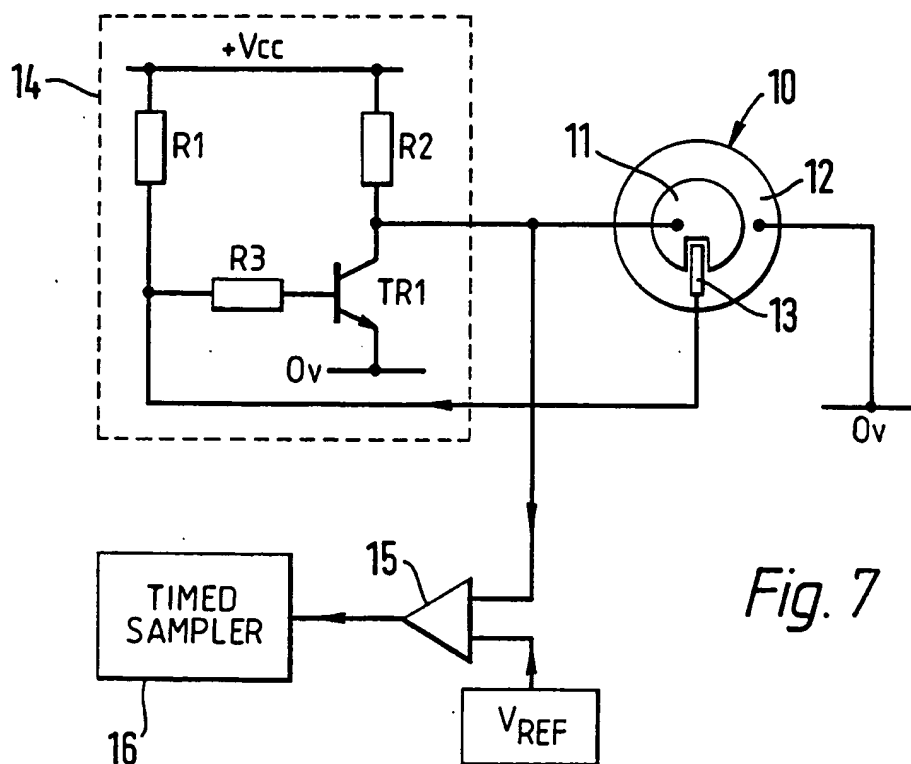


Fig. 7

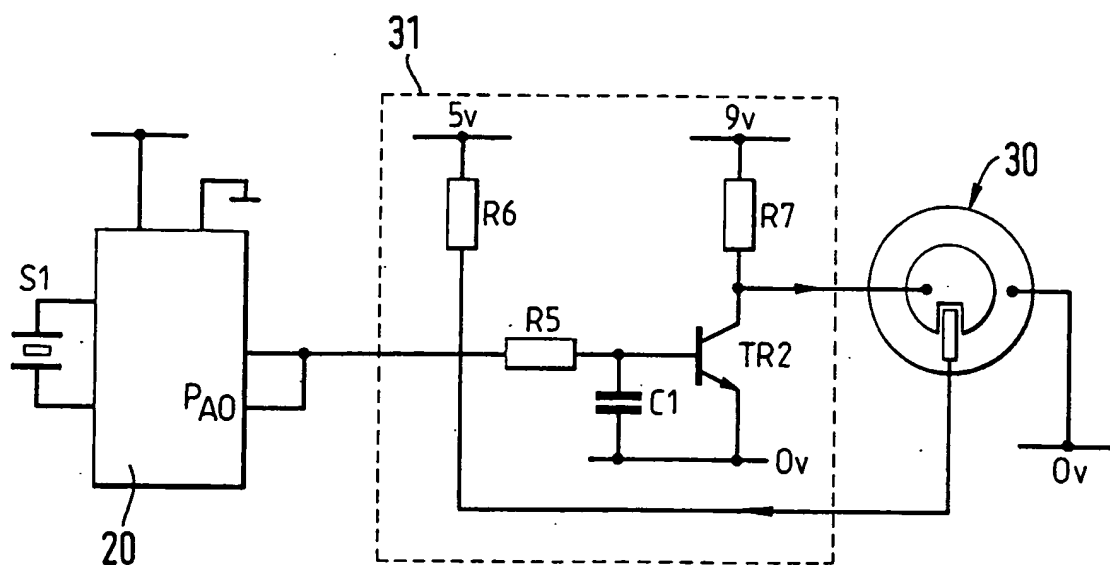


Fig. 8

6/7

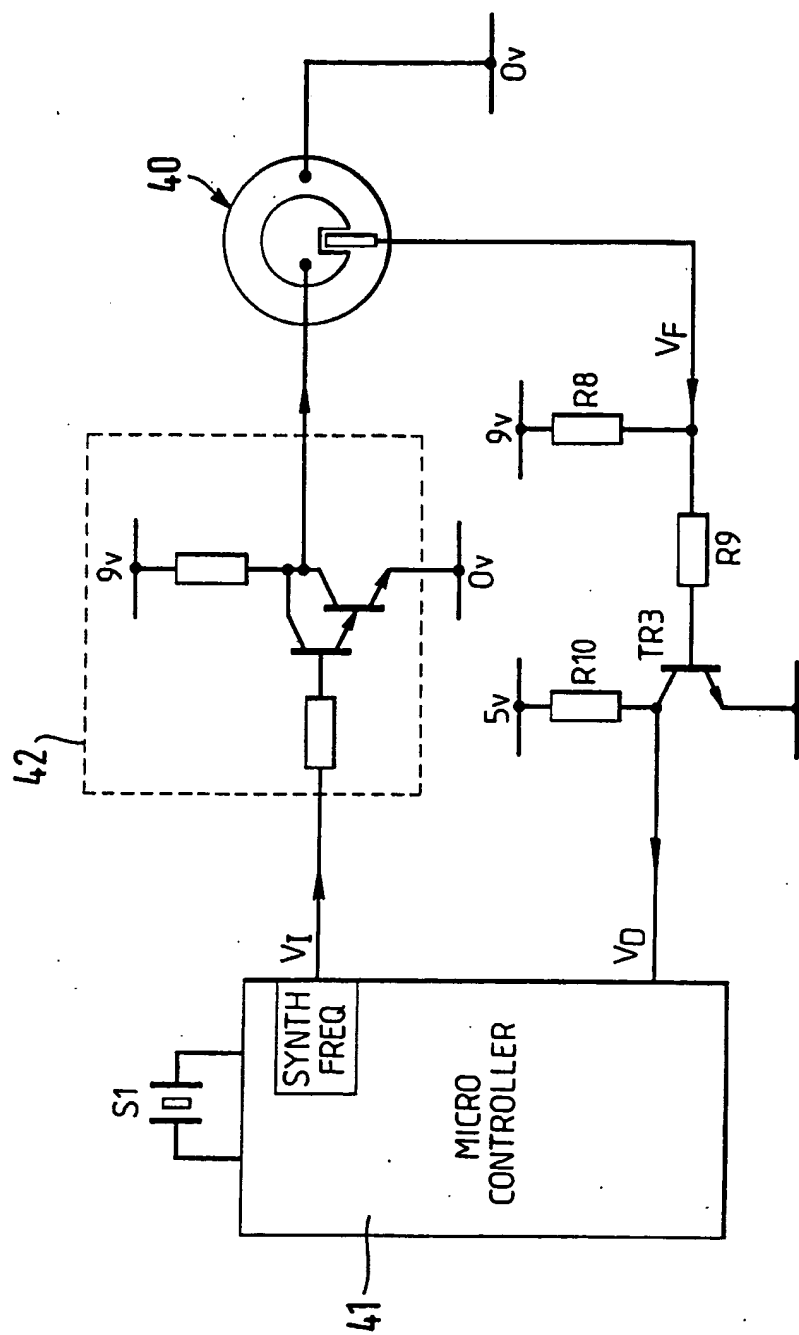


Fig. 9

7/7

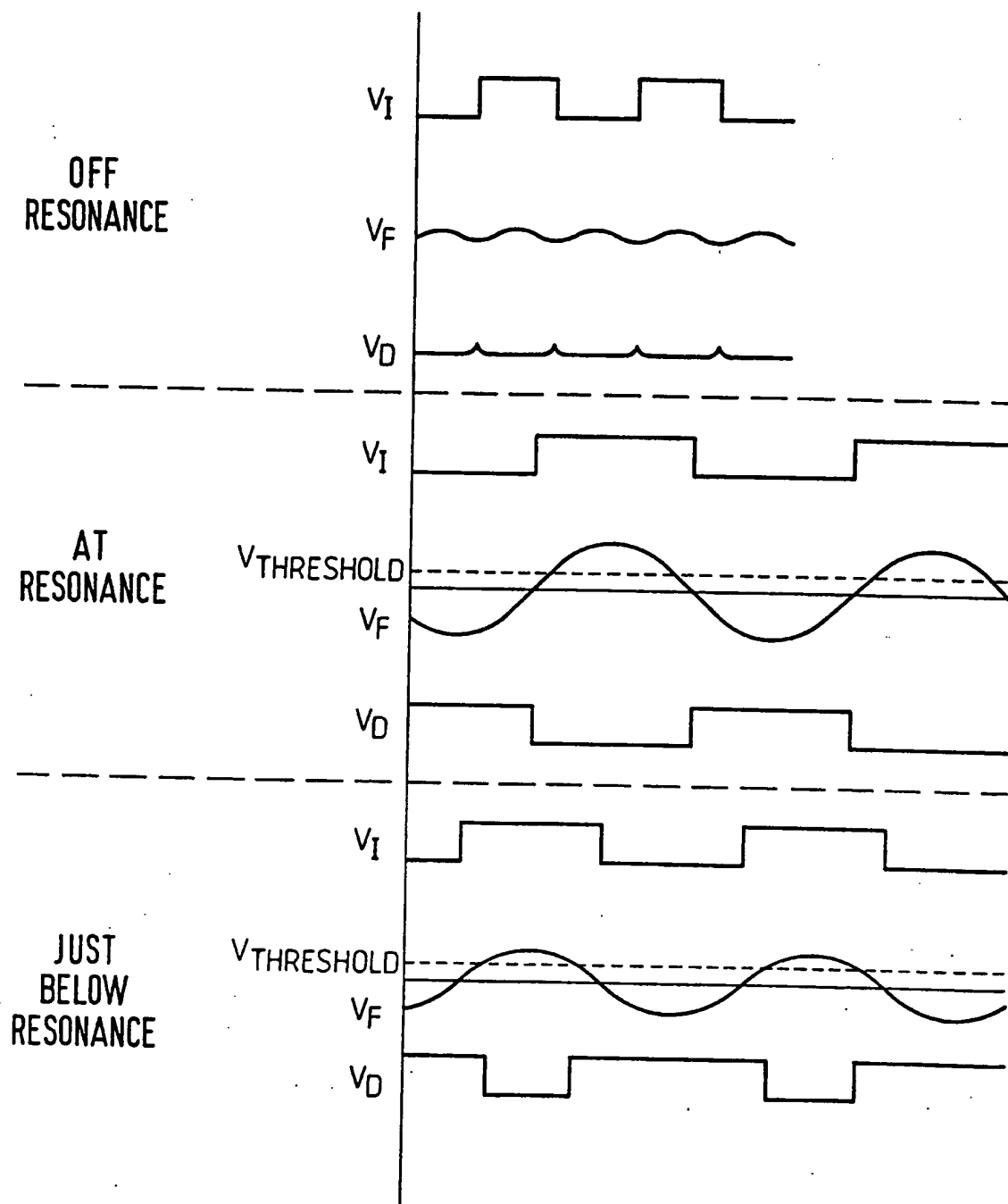


Fig.10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter. nal Application No  
PCT/GB 95/00938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G01F23/296 G01N29/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01F G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR-A-2 436 372 (CIT ALCATEL) 11 April 1980 see the whole document ---	1
A	DE-A-26 32 632 (ICI LTD) 26 January 1978 see the whole document ---	1-13
A	EP-A-0 123 189 (VDO SCHINDLING) 31 October 1984 cited in the application see claims 1-7 -----	1-13



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 June 1995

Date of mailing of the international search report

07.07.95

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kouzelis, D

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/GB 95/00938

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
FR-A-2436372	11-04-80	NONE	
DE-A-2632632	26-01-78	NONE	
EP-A-0123189	31-10-84	DE-A- 3314872 AU-A- 2663684	25-10-84 01-11-84



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**